

OTIMIZAÇÃO DE ROTAS DE LEITURA DE CONTADORES COMO PARTE INTEGRANTE DO PROCESSO DE REDUÇÃO DE PERDAS APARENTES EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA - APLICAÇÃO À CIDADE DO PORTO

Optimization of New Meter Reading Routes as an Integral Part of a Process on to Reduce Apparent Losses in Water Supply Systems - Application to Porto City

MARIA JOÃO OLIVEIRA ⁽¹⁾, SUSANA SOUSA ⁽²⁾ e JOAQUIM POÇAS MARTINS ⁽³⁾

⁽¹⁾ Mestre em Engenharia do Ambiente, FEUP

Rua do Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, ega08050@fe.up.pt

⁽²⁾ Coordenadora do Gabinete de Gestão de Anomalias, Águas do Porto, EM.

Rua Barão Nova Sintra, 285,4300-367 Porto, susana.sousa@aguasdoporto.pt

⁽³⁾ Professor Associado com Agregação, FEUP

Rua do Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, pmartins@fe.up.pt

Resumo

O principal objetivo do estudo era a otimização de rotas de leitura de contadores como parte integrante de um processo multidisciplinar de redução de perdas aparentes numa empresa de água, utilizando a cidade do Porto como um caso de estudo à escala real. A criação de novos circuitos surge no âmbito de uma análise multidisciplinar, onde se pretende que os técnicos de leitura assumam uma posição mais ativa na sua zona, com a realização de outro tipo de funções. Contudo, tal só é viável com a criação de novas rotas de leitura para a cidade, já que permite uma diminuição da distância percorrida. Para o desenvolvimento do trabalho foi utilizado um programa denominado Network Analyst que na sua génese tem integrado o Travelling Salesperson Problem. A fim de se obter a otimização das rotas com a totalidade dos contadores da cidade do Porto foi efetuada a otimização dos roteiros de leituras a partir de viatura (drive-by) de contadores com telemetria, assim como a criação de novas zonas.

Depois de terminado o estudo demonstra-se que a otimização dos percursos de leitura, tanto manual como de telemetria, permitem uma redução significativa do tempo utilizado pelos técnicos para percorrerem as diversas rotas.

Palavras-chave: Redução de perdas aparentes, análise multidisciplinar, otimização de rotas, técnicos de leitura, telemetria.

Abstract

This study had as main objective the optimization of new meter reading routes as an integral part of a multidisciplinary process on to reduce water losses (apparent losses) in any water distribution company, using Porto city as a case study at a real scale. The creation of this new meter reading circuits comes within a framework of a multidisciplinary analysis, where meter readers will take a more active position at the zone that they are assigned to and with the realization of other essential tasks in the zone. However, this is only feasible with the creation of new routes to meter read for the entire city, since it allows a reduction of the distance travelled. For the development of this work it was used a program called Network Analyst which in its genesis has integrated the Travelling Salesperson Problem. In order to obtain the optimization of the routes and to include all meters in Porto city, It was also performed an optimization by using roadmaps from car (drive-by) meters readings with telemetry technology, as well as the creation of new reading areas.

With the study complete we can demonstrate that the optimization of routes for meter reading, both manual and telemetry, allow a significant reduction of the time used by technicians for travelling through the various routes.

Keywords: Reduction of apparent losses, multidisciplinary analysis, route optimization, meter readers, telemetry.

1. Introdução

A crescente urbanização e os apreciáveis desenvolvimentos tecnológicos e industriais, verificados principalmente na segunda metade do século XX, têm determinado alterações significativas nos padrões de vida da sociedade moderna, que se têm refletido no aumento constante da procura de água e no lançamento de quantidades cada vez mais elevadas de resíduos provenientes das suas atividades.

Esta absoluta dependência humana do funcionamento contínuo e equilibrado do ecossistema global aconselha a promoção e aplicação de políticas de gestão baseadas num uso sustentável da água, que satisfaçam as necessidades do presente, sem comprometerem o direito das futuras gerações poderem, também elas, satisfazer as suas próprias necessidades.

Constituindo um dos problemas sérios da atualidade, a falta de eficiência na gestão dos sistemas de abastecimento de água limita o desenvolvimento económico, tem efeitos profundos no meio ambiente e afeta o conforto da sociedade. As perdas de água nestes sistemas representam um dos principais exemplos dessa situação.

A água perdida corresponde a água que não é faturada nem utilizada para outros usos autorizados, sendo, no entanto, captada, tratada e transportada em infraestruturas que contemplam custos de investimento, operação e manutenção associados. As perdas englobam as perdas de água físicas ou reais, que totalizam a água perdida em fugas na rede e reservatórios, e as perdas de água comerciais ou aparentes que traduzem a água que é consumida de um modo indevido pelo consumidor, ou seja, não faturada.

Com a perspetiva da melhoria da qualidade do serviço prestado aos seus clientes, no intuito de contribuir para o aumento da eficiência e a diminuição significativa das perdas, as EG portuguesas, públicas ou privadas, enfrentam novos desafios colocados pela União Europeia, procurando atender múltiplos aspetos da gestão operacional e estratégica dos sistemas, de modo a alcançar níveis de qualidade já existentes em alguns países mais avançados da Europa.

Deste modo, denota-se um intento de algumas EG em apostar em soluções inovadoras, com recurso a uma análise multidisciplinar, fruto de desenvolvimentos tecnológicos e da evolução das prioridades da gestão efetuada.

Esta abordagem origina o desenvolvimento de novas técnicas, mais concretamente na otimização de percursos e rotas.

A redução e controlo das perdas aparentes numa EG é efetuado, na maioria das vezes, com recurso à implementação de contadores por telemetria. Este método permite a redução do consumo não autorizado e também diminui o nível de erros humanos, contudo não é suficiente para o controlo de um tipo de perda em crescente.

Deste facto resultou uma aposta no desenvolvimento de métodos não tradicionais por parte de algumas EG.

O objetivo principal do estudo era a otimização de rotas de leitura de contadores como parte integrante de um processo multidisciplinar de redução de perdas aparentes numa empresa de água, utilizando a cidade do Porto como estudo de um caso à escala real.

Com isto definiram-se circuitos de leituras das vinte zonas em que a cidade do Porto se encontra dividida em relação à leitura dos seus contadores e criaram-se novos roteiros de leitura a partir de viatura (sistema drive-by) de contadores com telemetria.

2. O Setor das Águas em Portugal

O abastecimento público de água às populações constitui um serviço essencial ao bem-estar, à saúde pública e à segurança coletiva das populações, às atividades económicas e à proteção do ambiente.

Este serviço mostra ainda ser essencial para que Portugal cumpra o normativo nacional e comunitário no que concerne à qualidade da água.

O mercado deste setor em Portugal tem sido incentivado, entre outros fatores, pela crescente pressão dos compromissos assumidos no contexto da União Europeia, constituindo um agente motivador na realização de novos investimentos, para que o país passe a ter infraestruturas indispensáveis à prestação dos serviços de águas em conformidade com as exigências ambientais (ERSAR, 2011).

Segundo o Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais 2007-2013 (PEAASAR II), para o cumprimento destes objetivos é necessária a existência de uma adequada organização do setor, procurando maximizar os benefícios resultantes de potenciais economias de escala, de gama de processo; otimizando a utilização das diversas fontes de financiamento disponíveis; promovendo a equidade entre consumidores; garantindo uma adequada capacidade de geração de receitas; promovendo a concorrência e reforçando o tecido empresarial, consolidando um adequado modelo de regulação e de controlo ambiental.

Existem em Portugal um conjunto de condicionantes que pesam sobre o setor das águas, reforçando assim a necessidade de mudança na gestão do mesmo. Deste conjunto, uma parte decorre de fatores que conduziram à situação atual do setor e de especificidades próprias do mesmo e outra parte de características/propriedades da água e da sua importância para a vida humana e para as atividades económicas (Martins, 2007).

Verifica-se uma organização deficiente do setor, o que impede a separação clara de funções entre os vários intervenientes e a adoção de estratégias de integração ou de desagregação territorial, vertical ou horizontal, fundamentadas por critérios de racionalidade económica ou de sustentabilidade ambiental (KPMG, 2011).

Apesar da evolução positiva verificada nas últimas décadas em termos dos níveis de atendimento das populações a serviços de águas e de qualidade dos mesmos, há ainda um caminho a percorrer para que se atinjam os níveis característicos das sociedades desenvolvidas. Neste âmbito, importa sobretudo esbater as diferenças regionais existentes e recuperar os atrasos, em especial no que respeita ao tratamento de águas residuais.

Embora o país esteja já dotado de uma rede de abastecimento de água que permite abranger a quase totalidade da população, em relação ao saneamento de águas residuais a realidade é diferente.

Existem ainda aglomerados populacionais sem drenagem de águas residuais e, mesmo nos casos onde existe drenagem, são frequentes situações de ausência de tratamento adequado (KPMG, 2011).

As perdas de água constituem uma das principais fontes de ineficiência das EG de abastecimento de água. Efetuando uma análise comparativa com outros setores produtivos, verifica-se que são muito poucos os que permitem perder, no processo de transporte e distribuição, parcelas tão significativas do produto produzido (Alegre *et al.*, 2005).

Do total de perdas verificadas nos sistemas de abastecimento de água destacam-se as perdas aparentes que são constituídas pelo consumo não autorizado, pelos erros informáticos, de medição e humanos. Ao contrário das perdas reais, onde há a fuga de água, quer de uma conduta ou de um reservatório, as perdas aparentes a água desperdiçada não é visível, o que leva muitas EG a negligenciar esta forma de perda de água (Farley *et al.*, 2008).

A quantidade de água perdida nestas condições pode chegar a volumes superiores em relação às perdas reais, sendo que, na maioria das vezes, apresentam um valor monetário bastante superior, uma vez que a redução das perdas aparentes aumenta a receita, ao passo que as perdas reais reduzem o custo de produção

Para qualquer utilidade rentável, a tarifa de água será maior do que a variável custo de produção, às vezes até quatro vezes superior. Assim, mesmo um pequeno volume de perdas aparentes terá um grande impacto financeiro sobre a EG (Farley *et al.*, 2008).

Para conseguir reduzir de forma eficaz os erros já enunciados é necessário, antes de tudo, delinear uma estratégia vencedora. Para o efeito, apresenta-se um esquema com os passos mais importantes a ter em conta na estratégia de combate às perdas aparentes, Rizzo (2007).

É importante entender que, além de multidimensionais, as perdas aparentes são de natureza dinâmica. Ou seja, sempre que se segue um determinado caminho no combate a este tipo de perdas é necessário ter em atenção que as restantes causas estão a receber menos atenção e, logo, a aumentar em proporção (Rizzo, 2007).

A estratégia referida na Figura 1 menciona a inovação e pesquisa contínua de sistemas de informação, a vertente explorada no presente estudo, mais concretamente os sistemas de informação geográfica (SIG) e os algoritmos de otimização de redes (AOR).

Trata-se de um método inovador, já que aposta na otimização do caminho percorrido e na redução de percursos para reduzir as perdas aparentes.

3. Algoritmos de Otimização de Redes

O uso de redes é requerido quando se pretende conhecer a melhor rota entre uma dada origem e um determinado destino. Uma rede é interpretada como um grafo e representa a interação ou o movimento entre determinadas localizações definidas por pontos, como se representa na Figura 2.

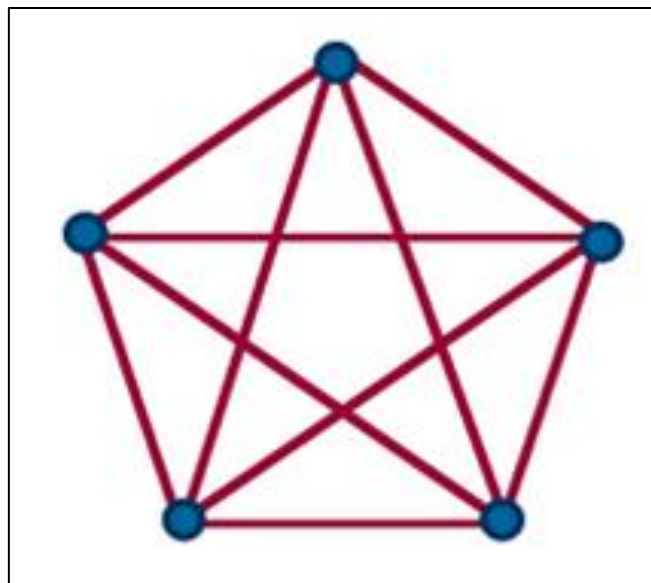


Figura 2. Exemplo de um grafo e as respetivas relações entre os nós (Adaptado de Departamento de Matemática, 2012 - <http://www.mat.uc.pt/~picado/ediscretas/apontamentos/cap2.pdf>).

A determinação do caminho ótimo corresponde ao processo de cálculo da melhor rota entre estas duas localizações, passando por todos os outros pontos considerados como paragens obrigatórias.

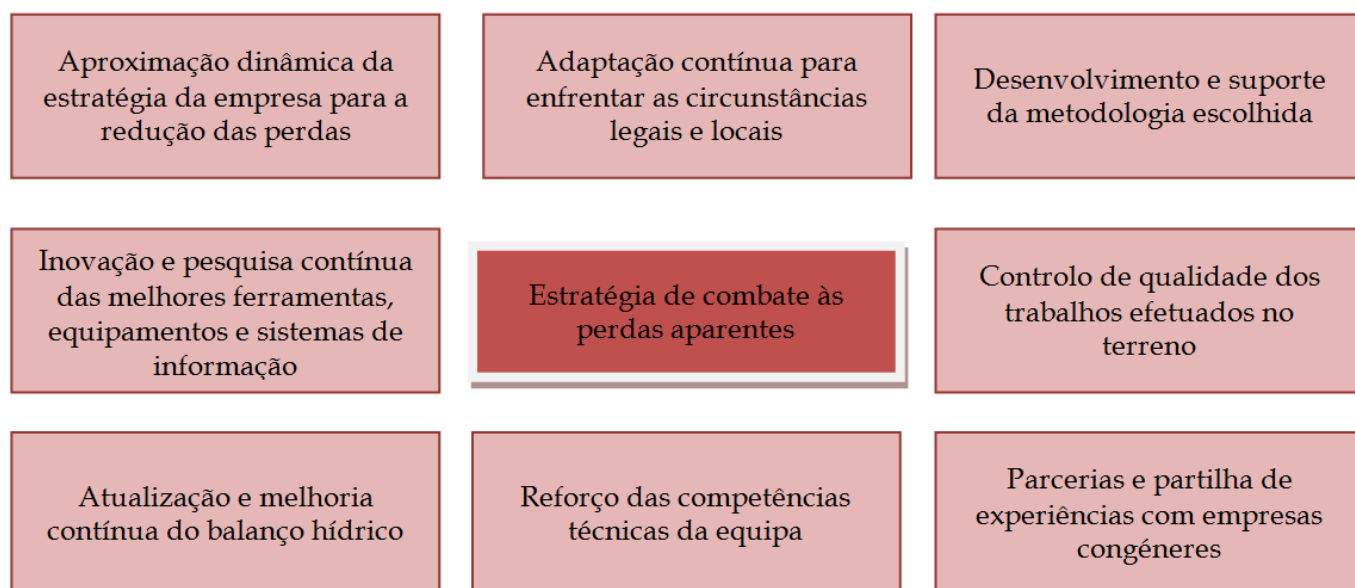


Figura 1. Estratégia de combate às perdas aparentes (Adaptado de Rizzo, 2007).

A melhor rota pode ser a mais rápida, a mais curta, a mais económica, dependendo da preferência do utilizador SIG, que define “melhor” relativamente aos atributos disponíveis para a pesquisa. Exemplos desta determinação são o caminho mais rápido entre a estação dos bombeiros e o local do incêndio, o caminho mais curto para o desvio de águas quando é dada uma obstrução na rede, ou ainda o caminho mais económico para uma rota de entregas com vários pontos de paragem (Antunes, 2008).

3.1. Algoritmo de Dijkstra

O algoritmo da Dijkstra foi desenvolvido em 1959 e, posteriormente, Dantzig (1960) e Nicholson (1960) desenvolveram o algoritmo de “duas árvores” de Dijkstra (Dijkstra two-tree algorithm), cuja ideia era construir árvores de caminhos mínimos desde um nó de origem até um nó de destino, simultaneamente. Esta ideia foi considerada interessante do ponto de vista de tempo computacional, conforme foi constatado por Helgason em 1988 (Instituto Militar de Engenharia, 2012). Na sua forma genérica o algoritmo determina o trajeto mais curto entre um dado nó considerado como origem e todos os outros. O algoritmo de Dijkstra é o mais simples para o cálculo de caminhos ótimos, apesar de, até aos dias de hoje, vários algoritmos terem sido desenvolvidos.

O algoritmo de Dijkstra reduz o tempo de processamento e as capacidades necessárias a nível computacional para o cálculo do caminho ótimo. Estabelece um equilíbrio através do cálculo de um trajeto que é muito próximo do caminho ótimo, computacionalmente possível de ser calculado, partindo a rede em nós, sendo que os trajetos entre eles são representados por linhas. Adicionalmente, cada uma das linhas tem um custo associado, representado pelo seu comprimento até alcançar o nó seguinte (Silva, 2009).

Este algoritmo parte de uma estimativa inicial para o custo mínimo e vai, sucessivamente, ajustando esta estimativa (Departamento de Informática e Estatística, s/ data).

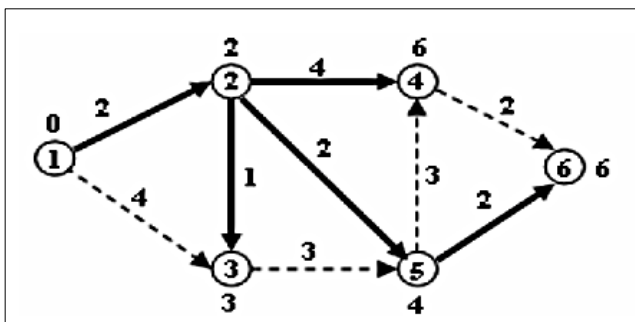


Figura 3. Exemplo da aplicação do algoritmo de Dijkstra (Karadimas *et al.*, 2007).

Contudo, para ser utilizado num contexto real de rotas, este algoritmo foi modificado de modo a respeitar certas restrições, tais como sentidos das vias, proibições, barreiras e constrangimentos da via (Silva, 2009).

3.2. Vehicle Routing Problem (VRP)

O segundo algoritmo estudado é o VRP, em português problema de roteamento de veículos. No VRP um conjunto de pontos de visita tem de ser atribuído a um conjunto de veículos, minimizando os custos dos percursos.

O VRP inclui restrições a respeitar, tais como a capacidade dos veículos e janelas temporais de visita, gerando uma solução que respeita aquelas restrições enquanto minimiza uma função objetivo composta por custos operacionais e preferência dos utilizadores (Departamento de Informática e Estatística, s/ data).

A função VRP começa por gerar uma matriz de custos origem-destino entre todas as localizações da rede (pontos de partida, de chegada e locais a visitar), baseada no algoritmo de Dijkstra. Utilizando esta matriz de custos, e com base em métodos heurísticos é então possível construir uma solução inicial atribuindo-se os pontos de visita ao percurso mais adequado, Figura 4. Posteriormente, a solução inicial pode ser aperfeiçoada pela troca dos pontos de visita entre percursos (Silva, 2009).

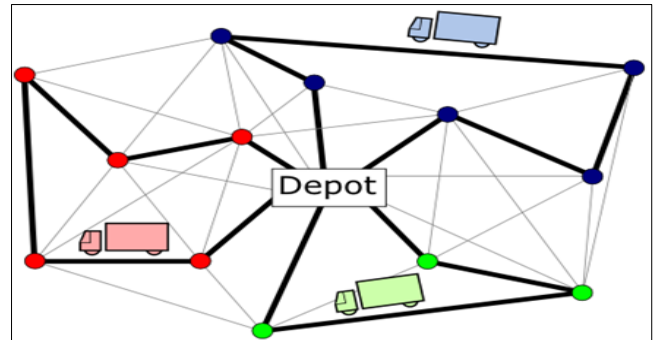


Figura 4. Exemplo de rotas obtidas através do VRP (CodePlex, 2011).

3.3. Travelling Salesperson Problem (TSP)

A origem do TSP não se encontra precisamente estabelecida, no entanto, segundo Goldberg *et al.* (1999) a sua génese deve-se a William Rowan Hamilton, que desenvolveu um sistema de álgebra não cumulativa, o cálculo icosiano, que pode ser interpretado em termos de caminhos sobre um grafo descrito por um dodecaedro (Costa, 2008).

O TSP é um dos problemas mais famosos de otimização combinatória. Este consiste em encontrar o trajeto de menor custo que permita a visita a todos os nós de uma determinada rede, passando exatamente uma vez por cada um, como o exemplo da Figura 5.

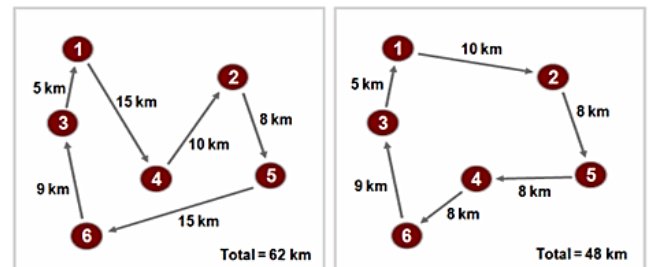


Figura 5. Exemplo da otimização de uma rota pelo TSP (Rodríguez, 2013).

O TSP possui uma ordem e uma complexidade exponencial, isto é, o esforço computacional para a sua resolução aumenta exponencialmente com o número de nós a serem visitados. Deste modo, apesar dos imensos estudos efetuados com o objetivo de encontrar formas rápidas e eficazes de obter a solução para este tipo de problemas em tempo útil, até hoje, tal não foi possível (Costa, 2008).

Um exemplo do interesse dos investigadores na resolução do TSP é um estudo desenvolvido pelo departamento de ciências biológicas, a Royal Holloway, da Universidade de Londres, no Reino Unido.

Neste estudo constata-se que as abelhas aprendem a traçar a rota mais curta para chegar até às flores que costumam ser encontradas, aleatoriamente, pelo caminho. Ou seja, as abelhas, apesar do seu pequeno cérebro, são capazes de determinar o caminho ótimo para chegar às flores, resolvendo o TSP. Foi possível chegar a esta conclusão através de um computador que controlou as flores artificiais para assim identificar o comportamento das abelhas (Phys, 2011).

A ideia do estudo era perceber se os insetos como as abelhas seguiam uma rota comum conforme encontravam as flores ou então se procuravam instintivamente a mais curta.

A conclusão que os investigadores chegaram foi que, depois de explorarem a região das flores, as abelhas rapidamente tendiam a voar pela rota mais curta. Este acabou por ser um grande avanço e ainda um melhor exemplo sobre como solucionar o TSP (Phys, 2011).

4. Otimização de Rotas de Leituras de Contadores

Para ser possível conhecer a quantidade de água gasta pelos seus consumidores, o sistema atualmente utilizado pela generalidade das EG, implica a instalação de um contador em cada local de consumo, ao qual o técnico de leitura efetua, com uma determinada frequência, uma visita para a recolha do valor do consumo acumulado registado no contador.

As leituras reais dos contadores dos consumidores devem ser efetuadas com uma frequência mínima de duas vezes por ano e com um afastamento máximo entre duas leituras consecutivas de oito meses, segundo consta no Decreto-Lei 194/2009, de 20 de agosto.

Na Águas do Porto, EM a leitura dos contadores dos seus consumidores é efetuada de dois em dois meses, exceto os casos de utilizadores com elevados consumos e com contadores com telemetria, em que se processa mensalmente.

4.1. Otimização de rotas de leitura manual na cidade do Porto

Quando se pretende determinar o melhor trajeto a percorrer na visita de um conjunto de pontos seguindo uma ordem previamente conhecida o software utilizado, o Network Analyst, utiliza o algoritmo de Dijkstra.

Se o problema passa pela formulação do melhor trajeto para percorrer um conjunto de pontos cuja sequência é desconhecida, tal como se pretende neste estudo, é utilizado o TSP (Silva, 2009).

Os consumidores de água da cidade do Porto que possuem um contador que necessita de leitura manual por parte de um técnico encontram-se divididos em vinte zonas de leitura, Figura 6.

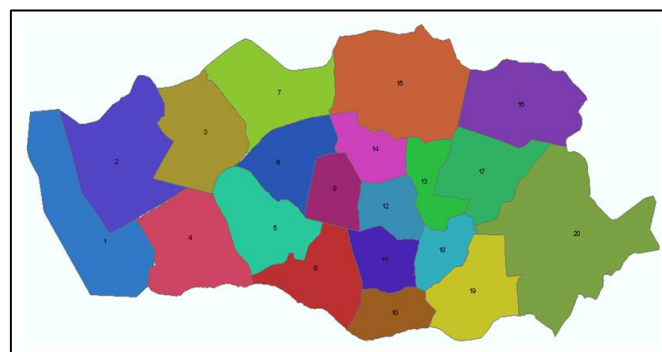


Figura 6. Divisão do Porto pelas zonas de leitura.

Para que a tarefa de criação de rotas de leituras de contadores seja facilitada, os contadores foram agrupados por prédios, ou seja, perfazendo um total de 35 480.

Neste âmbito, prédio representa o local a visitar pelo leitor a fim de recolher os valores das leituras, sendo que um prédio pode conter mais do que um contador, caso nos estejamos a referir a apartamentos, ou então pode apenas ter associado um contador caso o prédio seja uma moradia.

Estes valores estão intimamente relacionados, uma vez que, para o tempo total de leitura de cada zona ser relativamente idêntico, foram tidos em consideração um determinado número de parâmetros, como os contadores que se encontravam dentro ou fora da habitação, o tempo de entrada no prédio, o número de prédios, e ainda a distância entre os diferentes prédios. Os valores atribuídos a estes parâmetros resultaram, na sua maioria, da larga experiência dos técnicos de leitura no terreno, sendo estes discriminados no Quadro 1.

Quadro 1. Variáveis utilizadas no cálculo dos itinerários.

Variáveis	Valor
Tempo para entrar no prédio (s)	90
Tempo para ler contador dentro (s)	90
Tempo para ler contador fora (s)	30
Velocidade do técnico de leitura (km/h)	3.6

Os valores enunciados no Quadro 1 foram utilizados no sentido de se elaborarem itinerários com tempos médios mensais idênticos. Isto é, definiram-se valores teóricos para os tempos de leitura para ser possível, após o cálculo das rotas otimizadas, ter um itinerário diário para os dias úteis de trabalho dos respetivos leitores.

Considerou-se que, para cada zona, era necessária a criação de 40 itinerários, que correspondem a vinte dias úteis de trabalho em cada mês. O número de horas de cada itinerário foi variando consoante a zona em questão, já que o objetivo era ter um valor médio de horas semelhante para cada dia de trabalho.

Contudo considera-se o valor de 4,5h como o ideal para o trabalho de recolha de leitura, já que existem ainda outras tarefas a serem realizadas pelos técnicos.

4.1.1. Rota da zona 19 – Campanhã

A zona de leitura da Campanhã inclui ruas como a do Bonfim, a do Freixo e ainda parte do Campo 24 de Agosto. Esta zona tem um total de 2 208 prédios, estando 6 796 contadores associados. Da totalidade dos contadores referidos existem 4 880 no interior dos prédios e 1 916 no exterior dos mesmos. Segue-se então, no Quadro 2, uma análise pormenorizada aos resultados obtidos para a rota desta zona.

Quadro 2. Caracterização da rota da Zona de Campanhã.

Variáveis	Valor
Número médio de contadores por itinerário	170
Comprimento do percurso (km)	34.62
Tempo total do percurso (h)	9.62
Tempo para ler os contadores (h)	138.77
Tempo para entrar nos prédios (h)	55.20
Tempo total (h)	203.6

Como é possível comprovar pelos dados apresentados no quadro anterior, esta é uma rota extensa, com mais de 200km de comprimento. Por este mesmo motivo o tempo médio dos itinerários também acabou por ter valores mais amplos, ultrapassando as 5h diárias.

A zona da Campanhã foi de fácil desenvolvimento, uma vez que a construção da rede viária não ofereceu grande complexidade, já que os arruamentos que fazem parte desta zona tinham um elevado comprimento e encontravam-se dispostos paralelamente entre si. Passando para a análise do primeiro itinerário da zona, que foi implementado no terreno a fim de averiguar o seu desempenho, representa-se, de seguida, a rota sugerida pelo *software* utilizado (Figura 7).



Figura 7. Itinerário da zona de Campanhã.

A imagem da figura anterior caracteriza o tipo de arruamento que constitui a zona 19, uma vez que representa parte da Rua do Bonfim. Esta é uma rua comprida, ampla e com algum movimento, uma vez que se situa muito próxima do Campo 24 de Agosto.

É possível ainda visualizar a sobreposição da rede viária com o passeio, sendo que tal confirma a correta atribuição do valor da distância entre o passeio e o eixo da via, os 4m. No Quadro 3 são apresentados os resultados associados à execução, no terreno, do primeiro itinerário da zona 19.

Quadro 3. Caracterização do primeiro itinerário da Zona de Campanhã.

Variáveis	Valor
Comprimento do itinerário (km)	0.397
Tempo teórico do itinerário (h)	7
Tempo real do itinerário (h)	8

A diferença entre o tempo teórico e real do itinerário foi de apenas 1 minuto, sendo que tal se deveu, em parte, à necessidade de atravessar uma passadeira com semáforo que se encontrava no início da Rua do Bonfim. Este facto originou uma pequena perda de tempo associada à espera de permissão para atravessar a rua, aumentando o tempo real em cerca de 14% em relação ao teórico.

4.1.2. Análise comparativa entre rotas otimizadas e não otimizadas

É de extrema importância a comparação das rotas otimizadas, elaboradas no âmbito do presente estudo, com as rotas não otimizadas, as preconizadas pela EG.

Estas rotas foram idealizadas há já alguns anos e, por isso, houve a necessidade da sua reformulação, uma vez que os pressupostos a que elas foram realizadas mudaram ao longo do tempo.

Um exemplo disto é a própria cidade que, com o passar dos anos cresceu bastante, com a construção de muitos prédios e também a demolição de outros.

Por outro lado, aquando da criação dos itinerários atuais, a cidade apenas dispunha dos transportes da Sociedade de Transportes Coletivos do Porto (STCP), sendo que, desde 2002, passou a contar com as linhas do Metro do Porto (MP).

Foram muitas as mudanças que tornaram necessária uma abordagem diferente na reformulação das rotas, com vista a sua otimização, sendo, de seguida, apresentados os resultados associados (Figura 8).

Percurso das Rotas Otimizadas vs Não Otimizadas

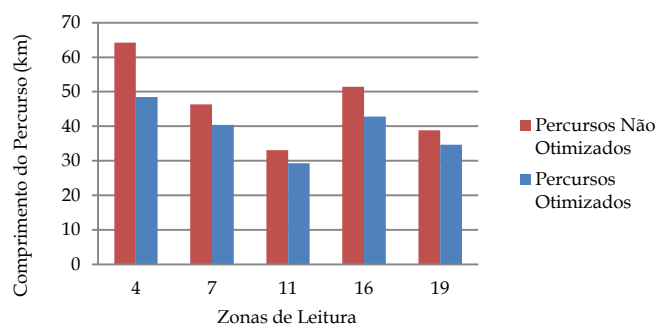


Figura 8. Itinerário da zona de Campanhã.

Pela análise da Figura 8 e do Quadro 4 é possível constatar que houve melhoria em todas as zonas onde se estudou o processo de otimização. Percebe-se, contudo, que foram as rotas das zonas 4 e 16 que tiveram um avanço mais significativo, de 24,5 e 16,8%, respetivamente.

Quadro 4. Melhoria do comprimento do percurso das rotas das cinco zonas selecionadas.

Zona	Melhoria do Percurso (%)
4	24,5
7	24,5
11	12,8
16	11,6
19	16,8

De uma forma geral há dois pontos a destacar, como aqueles que mais contribuíram para a diminuição dos percursos efetuados pelos técnicos de leitura em todas as zonas. Distingue-se, inicialmente, a realização dos percursos de forma a registar-se a leitura do maior número possível de prédios que se apresentavam do mesmo lado do passeio, reduzindo, desta forma, o atravessamento de ruas.

Este facto diminuiu o percurso da rota e do tempo despendido, uma vez que, quando se atravessa uma rua há um compasso de espera, quer pela mudança do sinal no semáforo, quer pela visualização dos carros que se encontram a passar. Por outro lado, há a constatar que a diminuição do número de itinerários para 40 (divididos em dois meses) acrescentou uma vantagem à otimização das rotas, já que possibilitou uma melhor distribuição do trabalho mensal para os técnicos de leitura. Ainda sobre os itinerários é importante mencionar que, nas rotas otimizadas, encontram-se seguidos, ou seja, o primeiro prédio a ser lido no itinerário do dia seguinte é o imediatamente a seguir ao último prédio do itinerário do dia anterior.

4.2. Otimização das rotas de leitura por telemetria dos contadores do Porto

Tradicionalmente o consumo de cada cliente é medido, com uma certa frequência, pelos técnicos de leitura da EG, através da visita aos seus contadores. Contudo, como já foi mencionado, este não é o único método de leitura, uma vez que esta se pode recolher com o auxílio a uma tecnologia designada por telemedicação ou telemetria.

O princípio da telemetria consiste em transmitir e receber informações/dados através de tecnologias de comunicação sem fios. Este sistema permite, assim, uma gestão mais simples do sistema de medição de caudais, pressões, parâmetros de qualidade da água na rede de distribuição, ou outros cuja monitorização seja necessária (Malheiro, 2011).

As rotas de leitura dos contadores por telemetria da cidade do Porto encontravam-se agregadas pelas suas quinze freguesias (Figura 9).

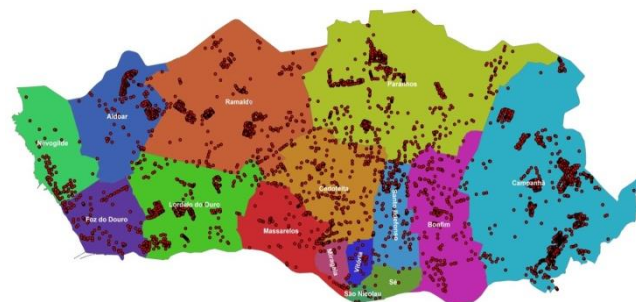


Figura 9. Prédios com contadores por telemetria na cidade do Porto.

O percurso de cada rota era efetuado por um técnico da EG com um veículo passando por todos os prédios em que existissem contadores com leitura por telemetria.

Na totalidade, a cidade do Porto tem, atualmente, 16 538 contadores com esta tipologia de leitura, sendo que se encontram divididos por 3 334 prédios. Claro está que muitos destes prédios também possuem contadores de leitura manual, no entanto, basta a existência de um contador com leitura por telemetria para ser necessária a recolha da informação.

Uma vez que se pretendia que todas os contadores da cidade ficassem associados às zonas de leituras apresentadas no início do presente capítulo, as rotas de telemetria foram elaboradas tendo em vista este critério. Como se reconheceu que a criação de uma rota diária de leitura por cada uma das vinte zonas seria excessiva, devido ao diminuto número de prédios a serem lidos, optou-se por elaborar percursos com a agregação de zonas de leitura. Os percursos da telemetria eram realizados em dez dias úteis, valor que se pretendia diminuir para metade, ou seja, cinco dias úteis. Na figura 10 apresentam-se as zonas de leitura agregadas conforme a formação da rota.



Figura 10. Agregação das zonas de leitura em rotas de telemetria

De seguida foram definidas as rotas de cada uma das zonas, obtendo-se um determinado percurso, materializado em comprimento pelo *Network Analyst*, como consta no Quadro 5.

Como é possível depreender pela análise do quadro, existem rotas com percursos curtos e outras com percursos significativamente maiores. Tal deveu-se ao facto do critério utilizado estar relacionado com o número de prédios e contadores e não com o comprimento do percurso. Isto porque há um conjunto de operações relacionadas com as

leituras dos contadores por telemetria, nomeadamente a resolução das anomalias detetadas no sistema, que necessitam de uma intervenção por parte do técnico da empresa e têm de ser contabilizadas para efeitos de tempo.

Quadro 5. Melhoria do comprimento do percurso das rotas das cinco zonas selecionadas.

Zona de Leitura por Telemetria	Comprimento do Percurso (km)
1,2, 3	63,89
1,2, 3	63,89
4, 5, 9, 10, 11	94,25
6, 7, 8, 12, 13, 14	103,22
15, 16, 17, 18, 19	87,37
20	44,01
Total	392,74

Ou seja, a definição das zonas de telemetria teve em consideração um vasto conjunto de critérios, como o caso do número de prédios, contadores, a dimensão do percurso e a dificuldade para o percorrer. Destaca-se que a materialização do percurso em tempo foi possível com a atribuição de uma velocidade média de 20km/h.

Após a definição das rotas em suporte digital foram efetuados no terreno alguns percursos, com o objetivo de se determinar o tempo real dos mesmos, tendo sido obtidos tempos semelhantes aos esperados. Esta semelhança não se verificou na terceira zona de telemetria, onde se alcançou um tempo relativamente superior ao teórico, sendo que esta circunstância foi contornada com a colocação de parte dos prédios dessa zona na zona 2, onde o tempo de trabalho era menor. O Quadro 6 apresenta o comprimento do percurso das rotas já otimizadas que se encontram atualmente em vigor.

Quadro 6. Comparação da rota de telemetria otimizada e não otimizada.

Rota	Comprimento do Percurso (km)
Otimizada	392,74
Não Otimizada	563,83

5. Conclusões e Recomendações

5.1. Conclusões

Depois de criadas as rotas e construídos os itinerários constata-se uma melhoria significativa ao nível da diminuição do comprimento do percurso que os técnicos de leitura têm de realizar, chegando aos 25%. Em média, a diminuição dos percursos de leitura foi de 15,3%, o que

traduz a eficiência do programa utilizado e a disponibilidade dos técnicos de leitura para a realização de outro tipo de funções relacionadas com a sua zona de leitura, nomeadamente na área de fiscalização e tratamento de anomalias.

De uma forma genérica percebe-se que foram as zonas com um número de prédios intermédios e com uma área elevada que tiveram uma melhor otimização. Isto deve-se ao facto de serem as zonas maiores as que possibilitam ao programa um maior número de opções para a escolha do caminho ótimo, ao passo que as zonas mais pequenas em área não o permitem.

No âmbito da otimização de rotas ainda houve oportunidade para a criação de roteiro de leituras a partir de viatura (drive-by) de contadores com telemetria. Neste processo a rede viária corresponde aos eixos de via da própria cidade, locais que a viatura pode transitar, sendo que não houve dificuldades acrescidas na sua criação. Para a redução do tempo de leitura dos contadores e uma melhor gestão das anomalias afetaram-se os contadores de telemetria às vinte zonas de leitura manual e criaram-se as rotas de telemetria com a agregação de algumas dessas zonas. Os resultados resumem-se à criação de cinco zonas de leitura e, consequentemente, cinco percursos otimizados, distribuídos por uma semana. Comparando o total da rota em vigor na EG com a rota otimizada destaca-se uma diminuição de, aproximadamente, 171km, o que perfaz uma melhoria de 30,3% em relação ao percurso inicial.

Com a realização deste trabalho prático foi possível otimizar todas as rotas de leitura da cidade do Porto, quer ao nível do trabalho que é realizado a pé pelos técnicos de leitura quer o que é efetuado através de uma viatura, o sistema de telemetria. Com isto conseguiu-se efetuar uma abordagem diferente às perdas aparentes, objetivando a sua redução com recurso a medidas inovadoras e a estratégias multidisciplinares. É ainda importante destacar que o processo de recolha de leituras é de extrema importância para as EG de água uma vez que, nos casos em que a leitura não se processa no espaço temporal de seis meses e não há intimação aos clientes para a recolha da leitura por parte da EG, a dívida que estes têm encontra-se prescrita. Tal vem aumentar a dívida ativa da empresa e, consequentemente, os seus índices de perdas aparentes. Perante os resultados que até então se obtiveram depreende-se que a aposta foi assertiva, com um desfecho interessante para a EG, ou seja, a diminuição significativa do tempo que os técnicos despendem na execução do percurso.

5.2. Recomendações para trabalhos futuros

Perante a indisponibilidade de realização de outros estudos devido ao elevado tempo empregado na criação das rotas e circuitos de leitura da cidade do Porto sugerem-se algumas recomendações para desenvolvimentos futuros, como complemento do trabalho já desenvolvido:

- Criação de rotas de leitura a partir de um programa do tipo open source com o objetivo de reduzir os custos associados às licenças dos programas mais utilizados e a extrapolar este estudo para EG com menor disponibilidade de recursos;

- Associar as diferenças de cota dos eixos de via à rede viária que é reproduzida no Network Analyst para se criarem rotas tendo em conta este condicionante do terreno, especialmente em cidades como o Porto;
- Implementação de um estudo deste tipo, de otimização de rotas, a outras áreas das EG, como o caso dos percursos de suspensão do fornecimento de água aos clientes incumpridores.

Referências

- Alegre, H., Coelho, S., Almeida, M. e Vieira, P. (2005). *Controlo de Perdas de Água em Sistemas Públicos de Adução e Distribuição*, Lisboa: Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR), 306 páginas.
- Antunes, M. (2008). *Plano de Voo apoiado em Sistemas de Informação Geográfica*. Dissertação para a obtenção de grau de Mestre em Engenharia Geográfica, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Codeplex. (2011). *“Problema de Roteamento de Veículos Capacitados”*, [Online]. Disponível em: <http://prvc.codeplex.com/>
- Costa, C. (2008). *Problema do Caixeiro-Viajante – Resolução e Depuração*. Dissertação para a obtenção de grau de Mestre em Matemática e Aplicações, Universidade de Aveiro, Aveiro.
- Departamento de Matemática da Universidade de Coimbra. (2013). *“Teoria dos Grafos”*, [Online]. Disponível em: <http://www.mat.uc.pt/~picado/ediscretas/apontamentos/cap2.pdf>
- Departamento de Informática e de estatística do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina. (2013). *“Algoritmo de Dijkstra para cálculo do Caminho de Custo Mínimo”*, [Online]. Disponível em: <http://www.inf.ufsc.br/grafos/temas/custo-minimo/dijkstra.html>
- Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (2011). *Relatório Anual do Setor de Águas e Resíduos em Portugal*, ERSAR, Lisboa.
- Farley, M., Wyeth, G., MdGhazali, Z., Istandar, A., Singh, S. (2008). *A Guide to Understanding Water Losses. The Manager’s Non-revenue Water Handbook*, United States Agency for International Development, Bangucoque, 110pp.
- Instituto Militar de Engenharia. (2013). *“Algoritmos para a Resolução de Problemas em Rede”*, [Online]. Disponível em: <http://aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/vania/apostilas/Apostila-Redes.pdf>
- Karadimas, N., Kolokathi, M., Defteraiou, G. e Loumos, V. (2007). *Municipal Waste Collection of Large Items optimized with ArcGIS Network Analyst*. 21st European Conference on Modelling and Simulation ECMS, Praga
- KPMG. (2011). *“Estudo sobre as Condições Económicas e de Sustentabilidade do Setor da Água em Portugal”*, [Online]. Disponível em: http://www.aepsa.pt/fotos/gca/estudokpmg_0220847001310750881.pdf
- Martins, M. (2007). *Regulação Económica no Sector das Águas - Promoção da Concorrência e Sustentabilidade Tarifária*. Dissertação para a obtenção de grau de Doutor em Economia, Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- PEASAR II (2007). *Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais*, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Lisboa, 170 pp. ISBN 978-989-8097-00-2.
- Phys, 28 de abril de 2013, *“How Bumblebees Tackle the Travelling Salesman Problem”*, [Online]. Disponível em: <http://phys.org/news/2011-06-bumblebees-tackle-salesman-problem.html>
- Rizzo, A. (2007). *Apparent Water Loss Control*, The IWA Water Loss Task Force, IWA - Water21
- Rodrigue, J. (2013). *The Geography Of Transport Systems*, Estados Unidos da América.
- Silva, A. (2009). *Otimização da Recolha de Resíduos Urbanos*. Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, Universidade de Aveiro, Aveiro.